

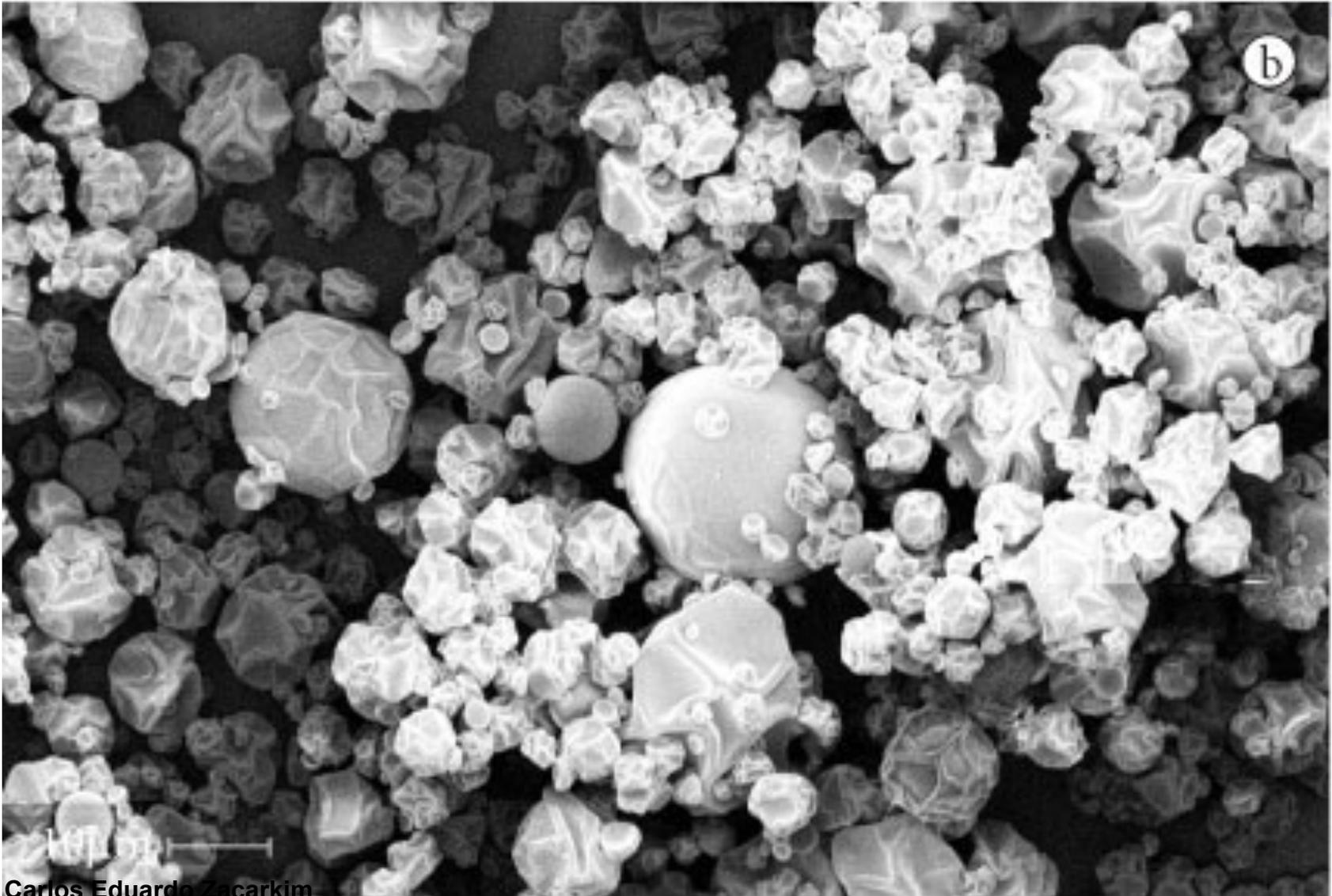
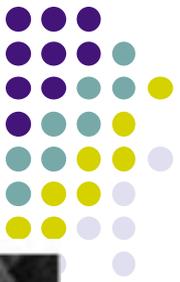


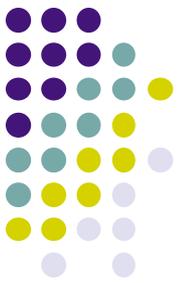
Mecânica dos Solos

(Solos - Revisão Geral)

Prof. Carlos Eduardo Zacarkim

Solos (revisão)

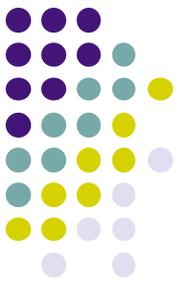




O solo é composto de:

- **Partículas orgânicas**
 - **Materiais vegetais e animais, e resíduos que provem de plantas e animais mortos;**
- **Partículas minerais**
 - **Areia, argila e partes de rochas quer foram desintegradas pelo intemperismo (físico, químico e biológico, etc.).**

Segundo sua textura, estrutura e consistência, os diversos tipos de solos retém maior ou menor quantidade água e ar.

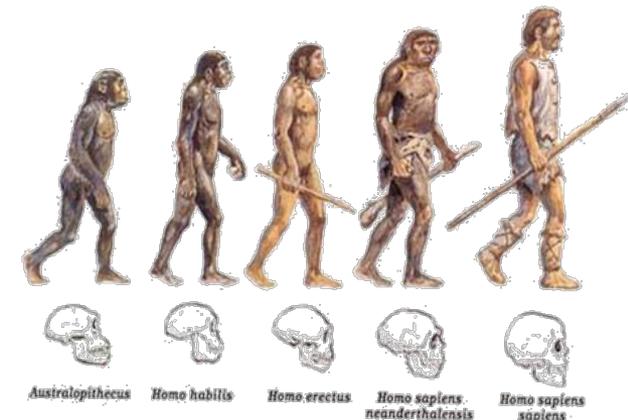


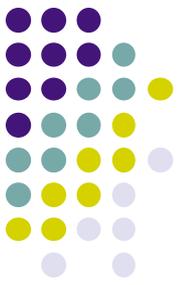
Formação dos solos

1. Intemperismo

- Conjunto de processos que transformam rochas maciças e tenazes em materiais friáveis (frágil)
- Físico, Químico e Biológico

2. Processos de erosão, transporte e sedimentação



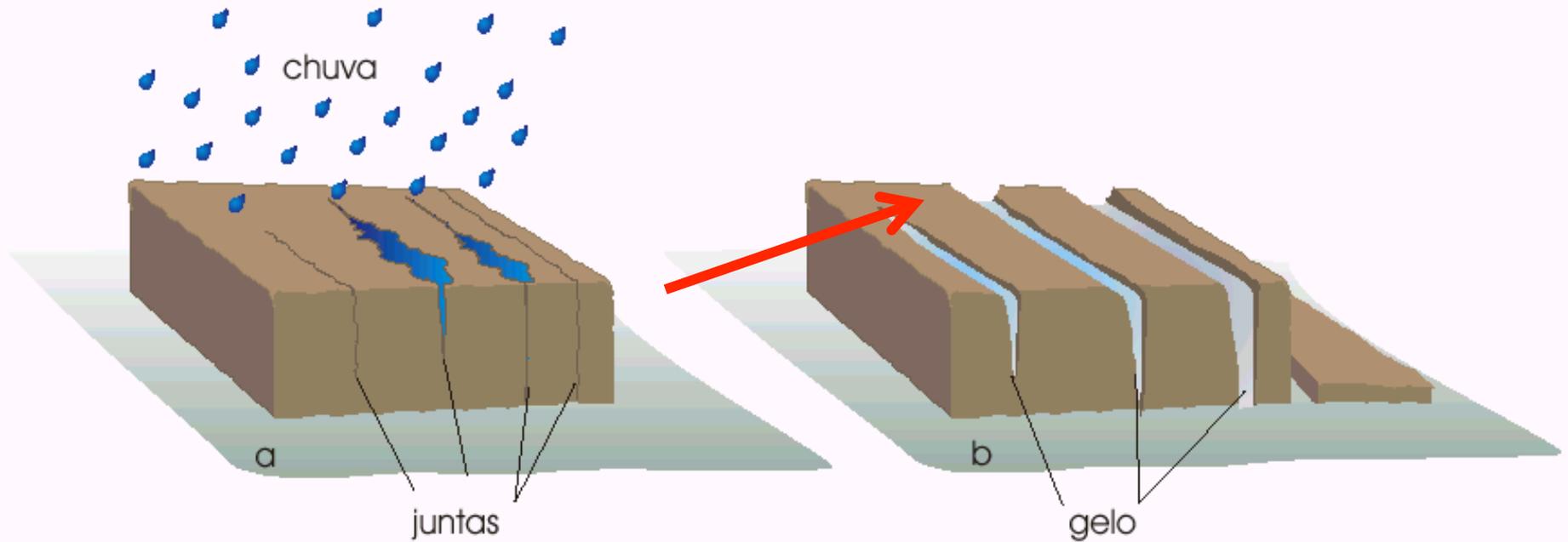


Tipos de intemperismo

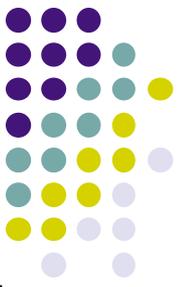
- **Intemperismo físico (desintegração)**
 2. Alívio de pressões
 - Alívio do peso de rochas erodidas
 - Expansão e fendilhamento \pm paralelo a superfície
 3. Crescimento de cristais
 - Crescimento de cristais nos poros ou fendas
 - Congelamento (crioclastia) e cristalização de sais (regiões áridas)



Crescimento de cristais



Fragmentação por ação do gelo. A água líquida ocupa as fissuras da rocha (a), que posteriormente congelada, expande e exerce pressão nas paredes (b).



4. Hidratação de minerais

- Ação física → tensões internas por aumento de volume de certos minerais. Ex: esfoliação de folhelhos (argilosos)

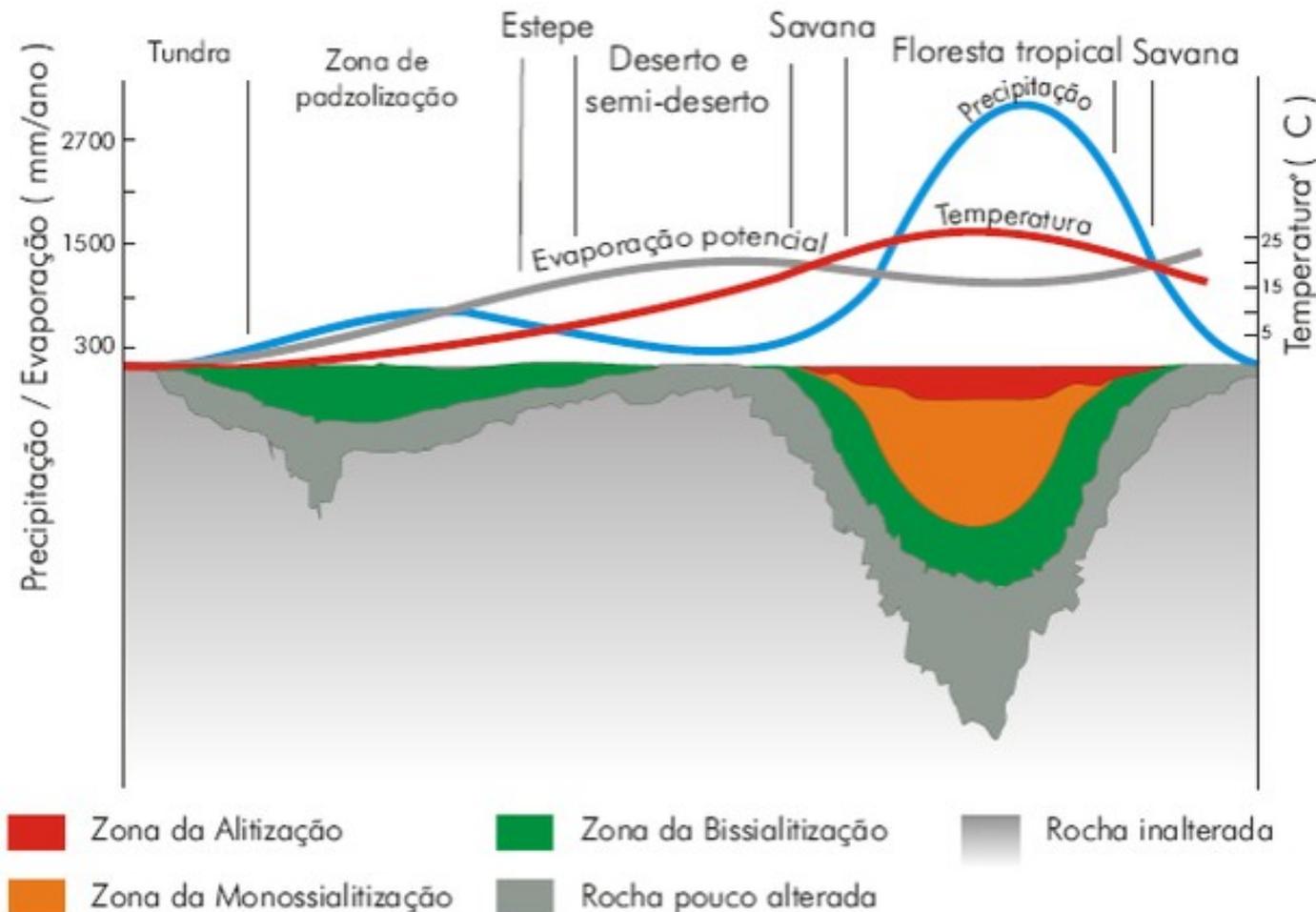
5. Processos físico-biológicos (**Intemperismo Biológico**)

- Ação biológica de bactérias, insetos, animais e plantas.
- Ex: Ação mecânica das raízes e de organismos

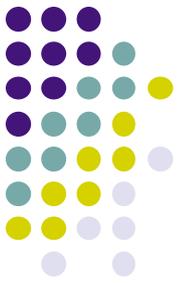
Intemperismo químico (decomposição)



- Processos q
minerais
- Principal age
ácida + gás
ativa
- Reações qu
minerais
- Fator import



Principais processos do intemperismo químico



- **Oxidação:**

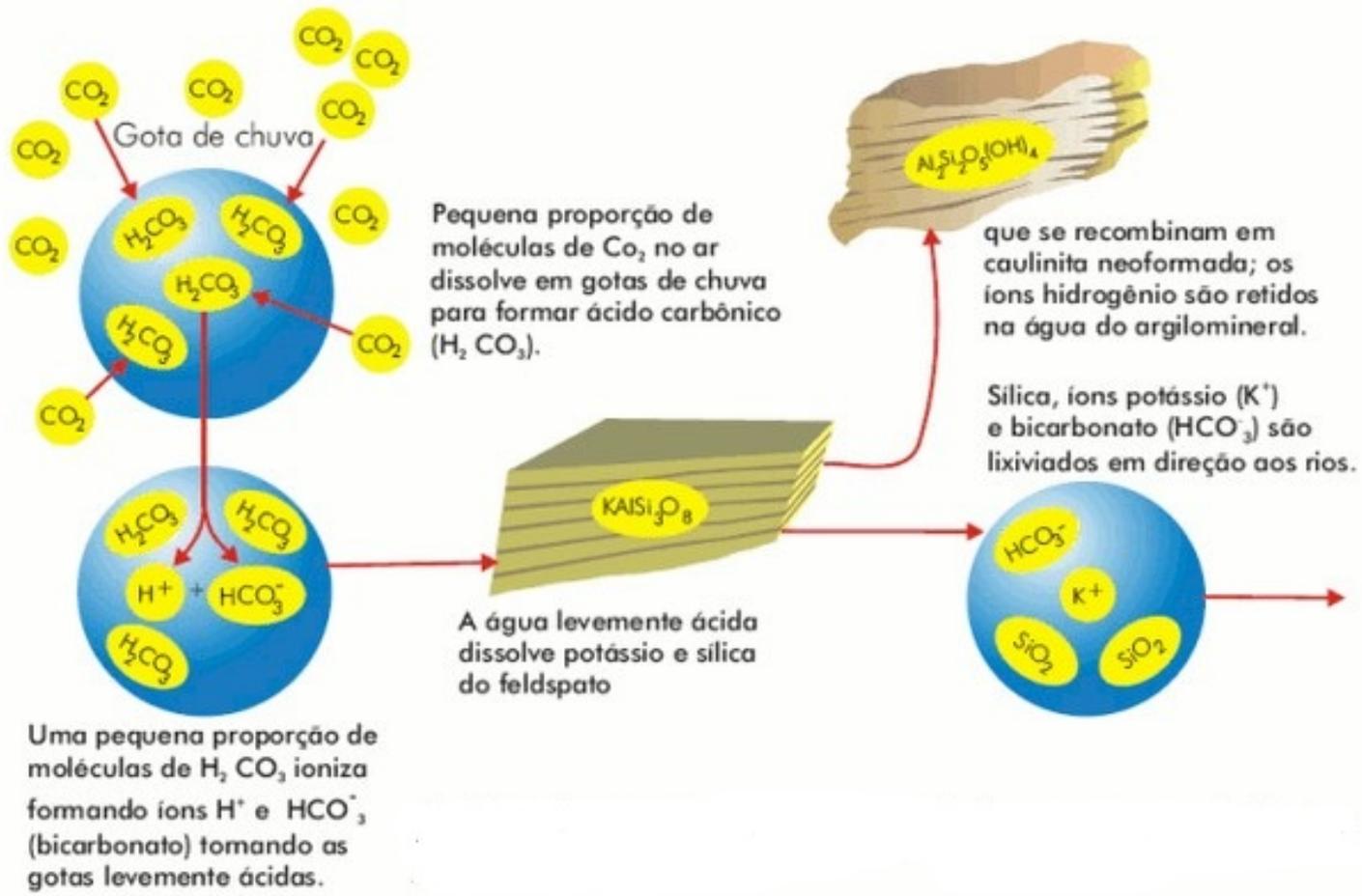
- Processo inicial e mais comum $\rightarrow \text{Fe}^{++} \rightarrow \text{Fe}^{+++}$
- Evidência: coloração avermelhada e amarelada
- Ambientes oxidantes

- **Redução:**

- Processo inverso à oxidação. Fe^{++} mantém-se na forma estável Ambientes redutores
- $2\text{FeS}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 7\text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$



● Hidratação e hidrólise:



ão

a



- **Dissolução (Carbonatação)**

- Calcários (CaCO_3 ou $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

- $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (bicarbonato Ca \rightarrow solúvel)

- **Químico-biológico**

- Liberação de substâncias e aumento na acidez na água de infiltração \rightarrow ação de microorganismos, plantas e tecidos animais e vegetais

Intemperismo

Intemperismo



Rocha

Solos jovens

Solo maduro

TIPOS DE SOLOS



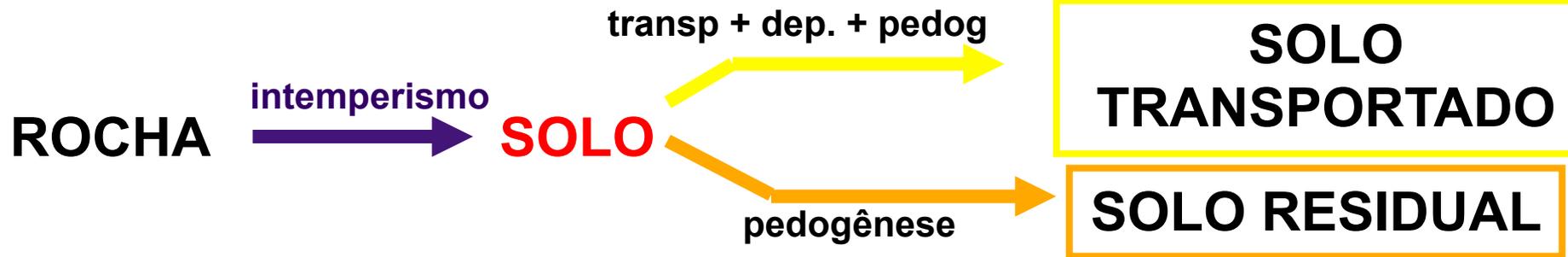
- **Residuais:**

- Provenientes da decomposição e degradação de rocha subjacente (intemperismo). Também chamados de “in situ”.

- **Transportados:**

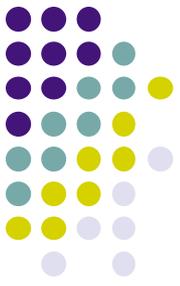
- Formado pelo material de intemperismo transportado e depositado em outro local.
- Ex: Solos coluviais, solos aluviais, solos eólicos

Processo de formação dos solos

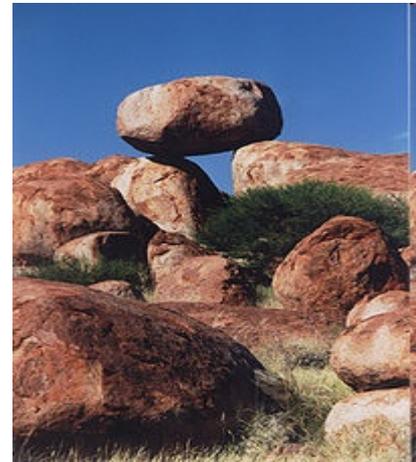


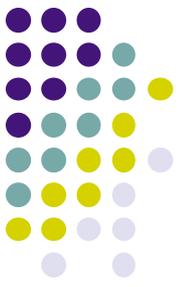
- **Pedogênese** → processos físico-químicos responsáveis pela evolução dos perfis de solos → diferenciação dos horizontes de solo → reações de adição, remoção, translocação e transformação de elementos

Solos residuais



- Características ligadas ao material de origem.
- Etapas:
 - Ação inicial: intemperismo físico + químico
 - Diaclasamento → formação de blocos
 - Blocos arredondados dispersos em matriz de solo arenoso (matacões)
 - Desaparecimento dos matacões. Massa de solo arenoargiloso → solo saprolítico (hor C)





Solos residuais

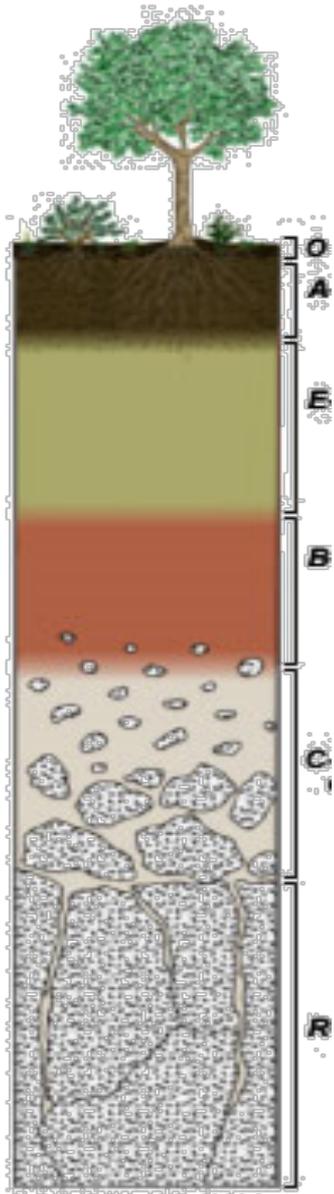
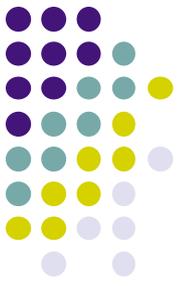
- **Pedogênese**

- Formação do hor B. Ex: laterização - solo laterítico
- Formação do hor A por adição de matéria orgânica

- **Processos pedogenéticos:**

- dessilicação - ferralitização - latolização / eluviação
- iluviação / gleização / carbonatação / salinização /
podzolização / paludização / turbação

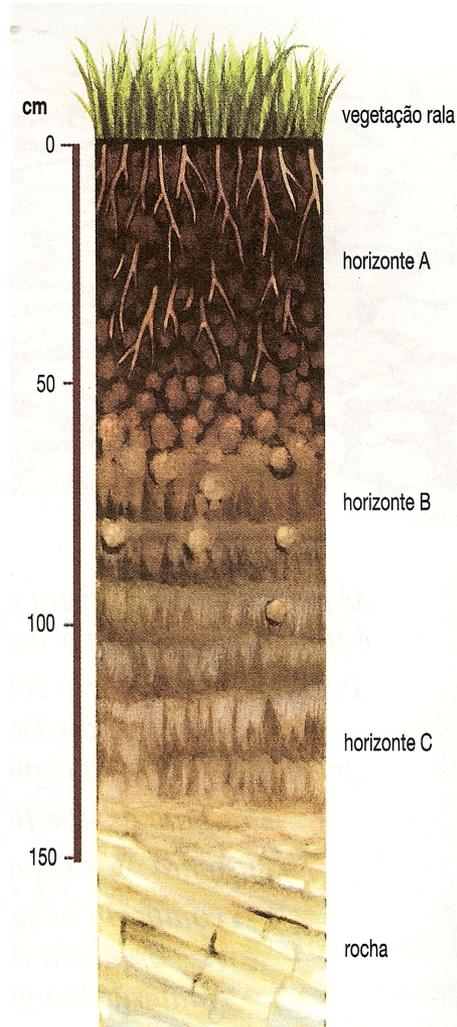
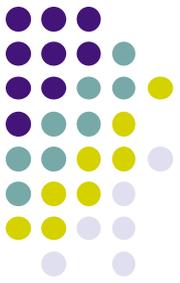
Perfil de solo residual tropical



- Horizonte O - com Predominância de restos orgânicos.
- Horizonte A – É denominada camada fértil. Ela é rica em húmus e, por isso, é considerada a melhor para o plantio
- Horizonte E e B - Rica em sais minerais constituídos de calcário, argila e areia.
- Horizonte C – Constituída pelas rochas parcialmente decompostas
- Horizonte D – Rocha consolidada ou rocha matriz. É constituída pelas rochas que estão inicialmente começando a se decompor



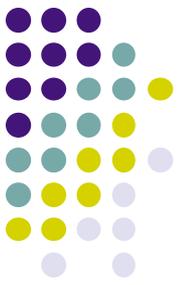
Solos para construção de viveiros



Horizonte Superficial (A): onde geralmente se encontra maior concentração de material orgânico no solo.

Horizonte intermediários B1 e B2: que, nos solos **aptos para a construção de viveiros**, apresentam teores mais elevados de partículas finas como argila.

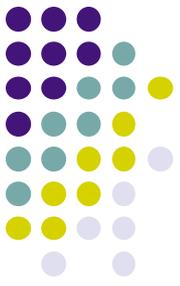
Horizonte profundo C: onde geralmente há presença de cascalho e material rochoso.



Solos transportados

- Solos coluviais ou eluviais
 - Transportados por gravidade auxiliado pelas enxurradas
 - Compostos por materiais pouco selecionados: argila até blocos próximo ao pé das encostas
 - Depósitos de encosta:
 - Tálus - estado fofo, predominância de fragmentos de rocha, apresentando rastejo
 - Colúvios - mais estáveis, com certa pedogênese

Solos transportados

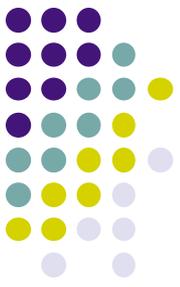


- **Solos aluviais**

- Transportados pela água corrente
- Composição - f(energia de transporte) - seleção granulométrica
torrentes - blocos / rios - areias e siltes / lagos e lagoas - argilas
- Ex: depósitos marinhos, fluviais (depósito de fundo de rio e terraços fluviais), deltáicos, glaciais, ...

- **Solos eólicos**

- Transportados pelo vento - melhor seleção granulométrica
- Composição: areias e siltes
- Ex: dunas em praias litorâneas e desertos e depósitos de loess em regiões desérticas e glaciais



● Solos orgânicos

- Ocorrem em áreas bacias e depressões continentais e baixadas litorâneas e marginais de rios
- Mais de 20% de MO - pouca argila –
- Origem:
 - Impregnação de MO em sedimentos
 - Transformação carbonífera de materiais vegetais
 - Absorção de carapaças de organismos marinhos
- Solos finos impregnação por húmus
- Solos finos orgânicos carbonificação turfa
 - Turfa: solo fibroso, rico em MO, baixa densidade, combustível quando seco



Solo residual



Solo transportado

Transportado coluvial/eluvial



Transportado aluvial



Rocha



Solo residual



Solo transportado

Transportado coluvial/eluvial



Transportado aluvial



Latosolo



- Solos profundos (>2m)
- Textura argilosa ou franco argilosa;
- Cor vermelha;
- Amarelada ou alaranjada;
- Boa drenagem
- Suscetíveis a erosão.



– Classificação de solos utilizada pela EMBRAPA.

Solo	Características
Neossolo	Solo pouco evoluído, com ausência de horizonte B. Predominam as características herdadas do material original.
Vertissolo	Solo com desenvolvimento restrito; apresenta expansão e contração pela presença de argilas 2:1 expansivas.
Cambissolo	Solo pouco desenvolvido, com horizonte B incipiente.
Chernossolo	Solo com desenvolvimento médio; atuação de processos de bissialitização, podendo ou não apresentar acumulação de carbonato de cálcio.
Luvissolo	Solo com horizonte B de acumulação (B textural), formado por argila de atividade alta (bissialitização); horizonte superior lixiviado.
Alissolo	Solo com horizonte B textural, com alto conteúdo de alumínio extraível; solo ácido.
Argissolo	Solo bem evoluído, argiloso, apresentando mobilização de argila da parte mais superficial.
Nitossolo	Solo bem evoluído (argila caulínica – oxi-hidróxidos), fortemente estruturado (estrutura em blocos), apresentando superfícies brilhantes (cerosidade).
Latossolo	Solo altamente evoluído, laterizado, rico em argilominerais 1:1 e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio.
Espodossolo	Solo evidenciando a atuação do processo de podzolização; forte eluviação de compostos aluminosos, com ou sem ferro; presença de humus ácido.
Planossolo	Solo com forte perda de argila na parte superficial e concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial.
Plintossolo	Solo com expressiva plintitização (segregação e concentração localizada de ferro).
Gleissolo	Solo hidromórfico (saturado em água), rico em matéria orgânica, apresentando intensa redução dos compostos de ferro.
Organossolo	Solo essencialmente orgânico; material original constitui o próprio solo.

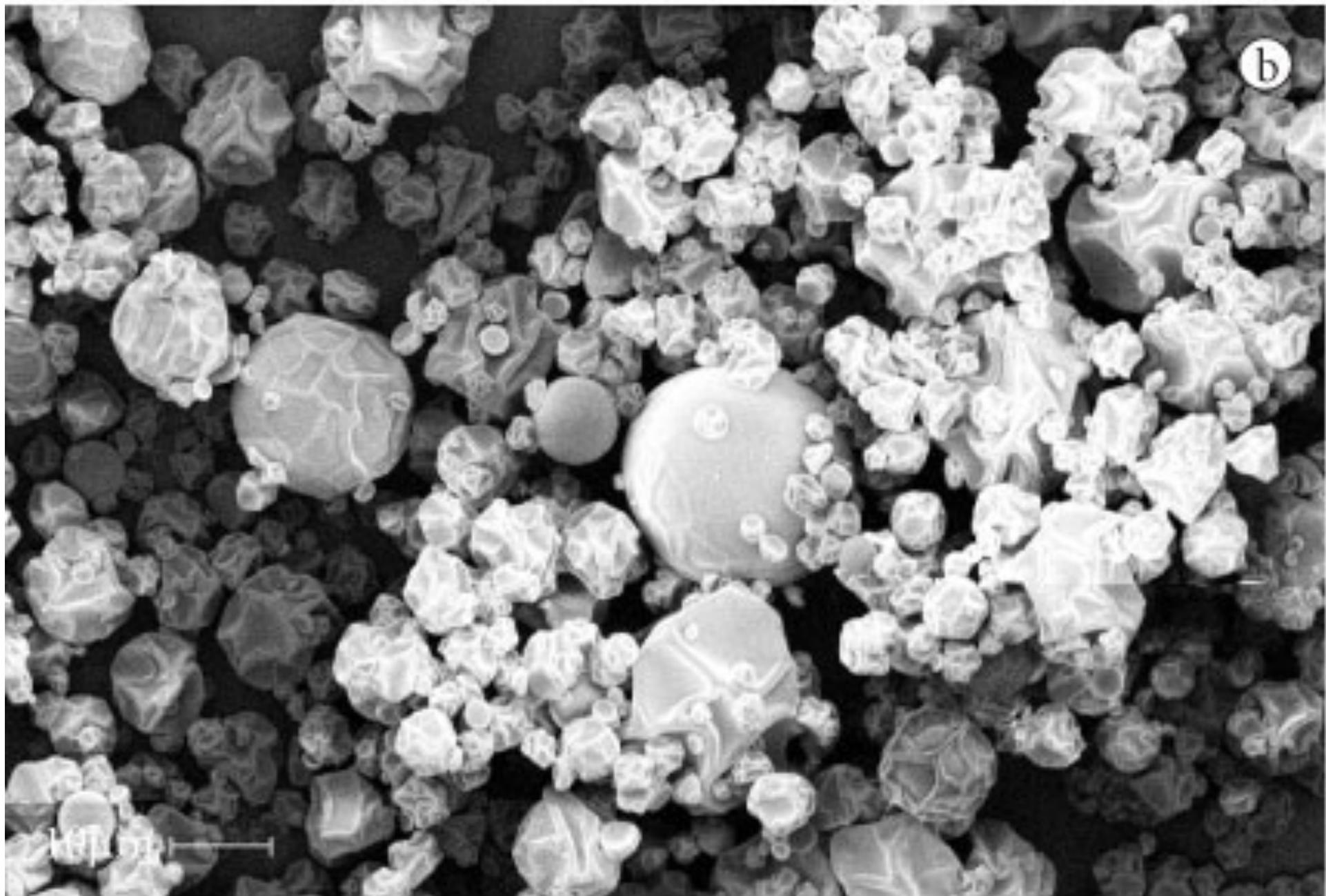


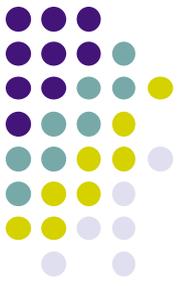
Os **solos aluviais** são de grande interesse para a aquicultura; encontram-se em locais onde a movimentação de terra para construção de viveiros é mínima, pois possuem topografia regular e levemente ondulada; além disto, estes tipos de solos contem argila suficiente para construção de taludes resistentes e que não permitem infiltração de água.

Cuidado!

- Solos rasos;
- Pedras soltas;
- Aflorações de pedras nas áreas;

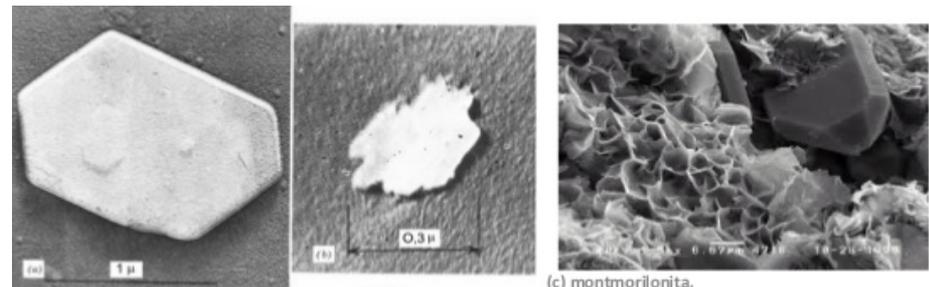






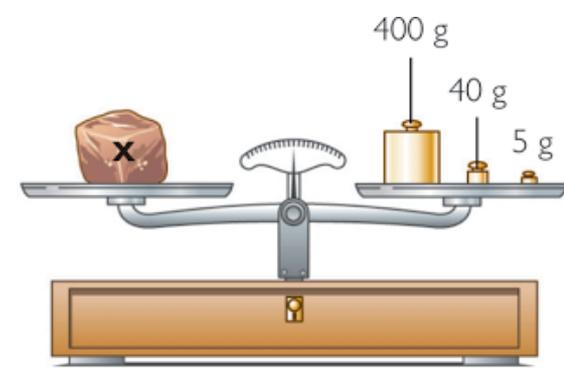
Forma das Partículas

- Partículas arredondadas ou poliédricas – São predominantemente e nos pedregulhos, areias e siltes (Grossos).
 - Não coesivos (Quartzo)
- Partículas lamelares ou escamadas – se encontram em argilas (Finos)
 - Coesivos (Feldspatos)



(c) montmorilonita.

Peso específico das partículas de um solo (γ_g)



$$\gamma_g = \frac{P_s}{V_s}$$

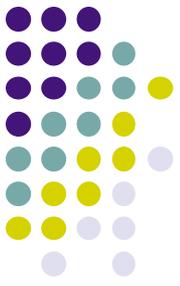
- P_s – peso da substância sólida
- V_s – unidade de volume

Densidade relativa

$$\delta = \frac{\gamma_g}{\gamma_a}$$



- γ_a – Peso específico da água (1 g/cm³ ou 10 KN/m³)

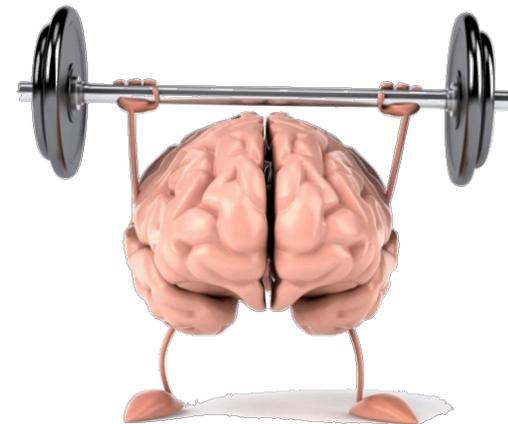


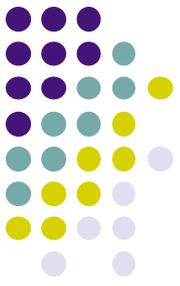
Exercício fixação

- Determine o peso específico das partículas em uma amostra de solo com as seguintes características:
 - Peso do proveta com água = 435,21g
 - Peso da proveta com solo (30g) e água para completar o mesmo nível 454,13g.

$$\gamma_g = \frac{P_s}{V_s} \quad \gamma_g = \frac{30}{30 + 435,21 - 454,13}$$

$$\gamma_g = 2,71g/cm^3$$





Granulometria do solo

- Tamanho
- Quantidade (caracterização)
- Conhecimento
 - Graduação,
 - Compactação,
 - Uniformidade, etc..



Granulometria do solo (Análise)



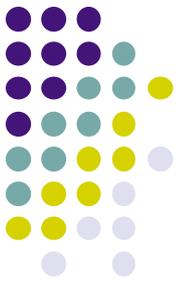
- Peneira (200) – 1 a 200 mm
- Sedimentação (Lei de Stokes, 1850)
 - Densímetro ou Pipeta



$$v = \frac{\gamma_g - \gamma_a}{18n} D^2$$

- γ_g – Peso específico do solo (1 g/cm^3 ou 10 KN/m^3)
- γ_a – Peso específico da água ou meio dispersor
- n – Coeficiente de viscosidade do meio (constante)
- D – Diâmetro da partícula

Porcentagem das partículas



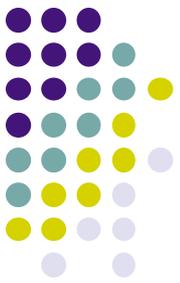
- Lei de Stokes ($< 0,2\text{mm}$)
- Densímetro

$$P\% = \frac{100}{P_s} \times \frac{\gamma_g}{\gamma_g - 1} \times (L_D + C_T)$$

$$C_T = (\gamma_c - \gamma_a) - \alpha(T - T_c)$$

- P_s – Peso total do solo
 - L_D – Leitura do densímetro (10^3)
 - C_T – Correção da leitura pela temperatura
 - γ_g – Peso específico das partículas do solo
- P_s – Peso total do solo
 - T_c – Temperatura de calibração
 - γ_c – Peso específico da água na temp. de calibração
 - γ_a – Peso específico do meio dispersor

Escala granulométrica brasileira (ABNT)



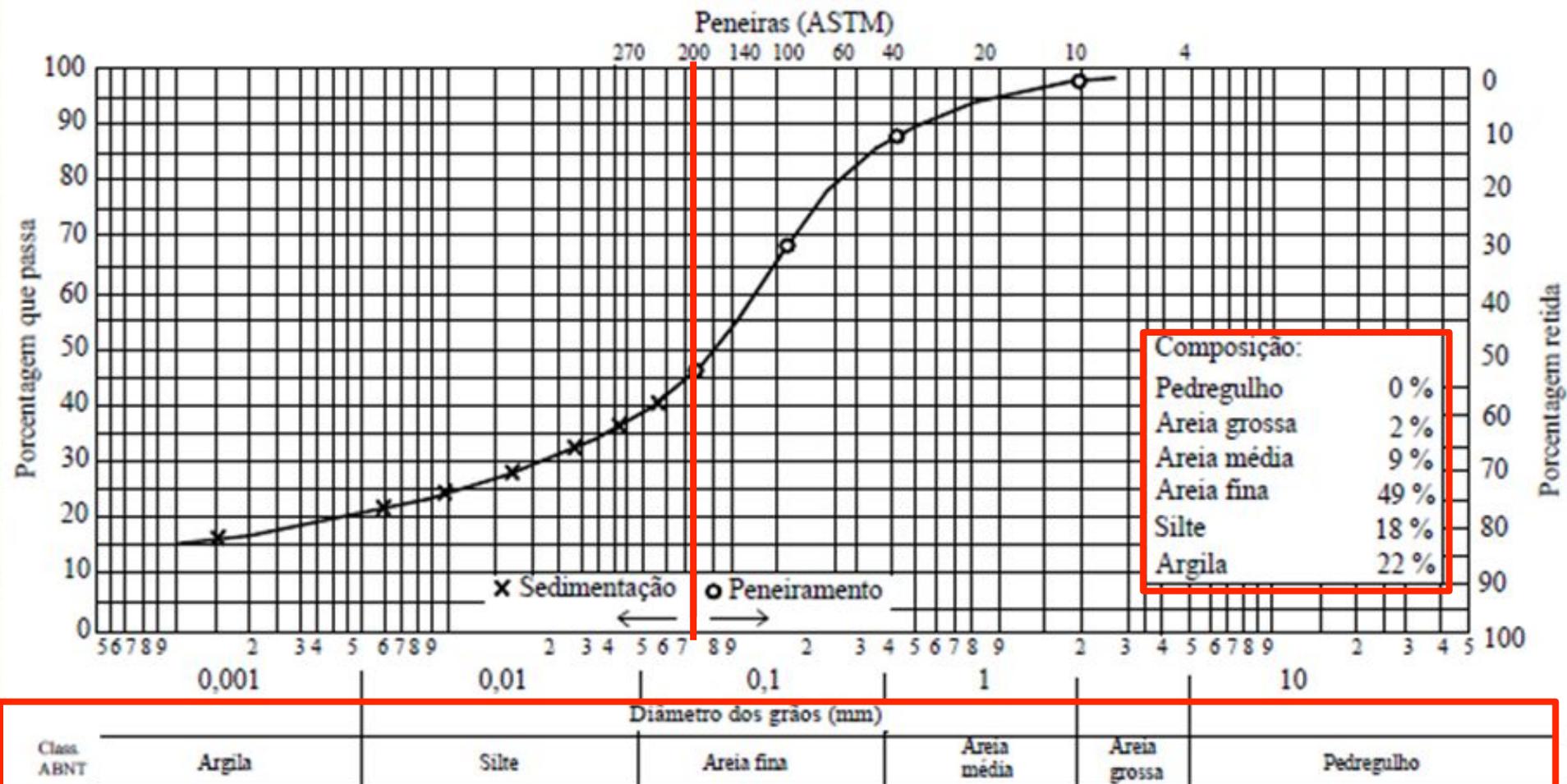
Tipo de partícula	Faixa de tamanho	Análise/ Método
Pedregulho	76 a 4,8mm	Peneira 200/ASTM (0,075mm)
Areia	4,8 a 0,05mm	Densímetro/Pipeta (ABNT)
Silte	0,05 a 0,005mm	Densímetro/Pipeta (ABNT)
Argila	Inferiores a 0,005mm	Densímetro/Pipeta (ABNT)

● American Society for Testing and Materials (ASTM)

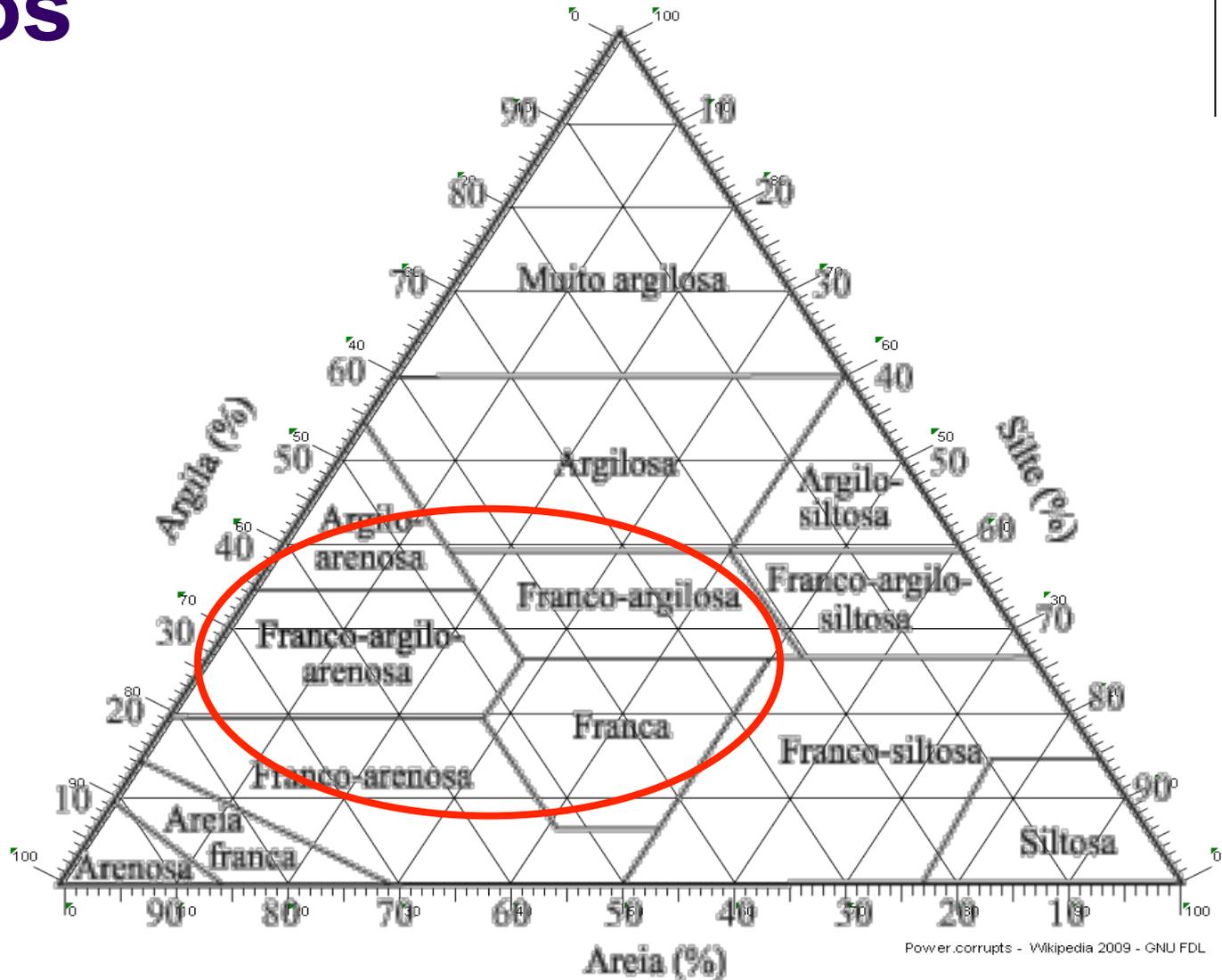
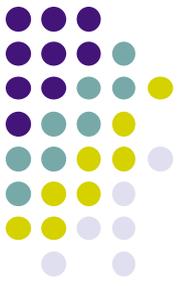
Comunicado 66

Técnico

ISSN 1517-5685
Rio de Janeiro, RJ
Dezembro, 2012



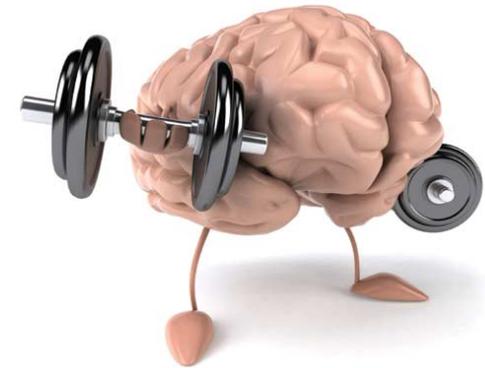
Classificação Trilinear dos Solos



Power,corrupts - Wikipedia 2009 - GNU FDL

- American Society for Testing and Materials (ASTM)

Exercício fixação

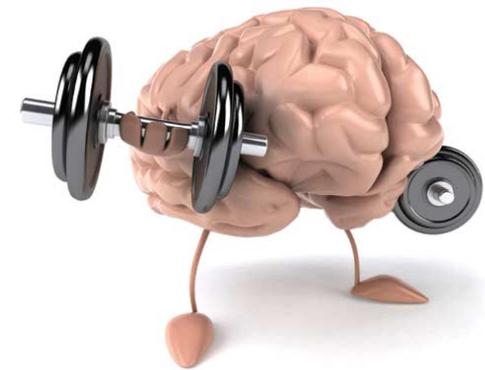


- Num ensaio de sedimentação, a leitura do densímetro foi de 1,0236 decorrido 8 minutos após o início do ensaio com altura de queda de 12,5 cm. O peso específico do solo foi de 2,70 g/cm³ e a viscosidade da água na temperatura do teste (26°C) é de $n = 8,737 \times 10^{-6}$ g. s/cm² (constante). Qual é o diâmetro das partículas? A correção da leitura para 20°C foi de 0,0008. Qual a porcentagem das partículas?

$$v = \frac{\gamma_g - \gamma_a}{18n} D^2 \quad 0,0260 = \frac{2,70 - 1,00}{18 \times 8,737 \times 10^{-6}} D^2 = 0,0155 \text{ mm}$$

$$v = \frac{Dist}{t} \quad v = \frac{12,5 \text{ cm}}{480 \text{ s}} = 0,0260 \text{ cm/s}$$

Exercício fixação

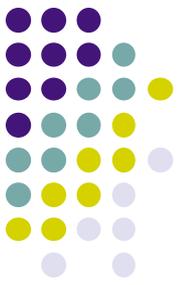


- Num ensaio de sedimentação, a leitura do densímetro foi de 1,0236 decorrido 8 minutos após o início do ensaio com altura de queda de 12,5 cm. O peso específico do solo foi de 2,70 g/cm³ e a viscosidade da água na temperatura do teste (26°C) é de $n = 8,737 \times 10^{-6}$ g. s/cm² (constante). Qual é o diâmetro das partículas? A correção da leitura para 20°C foi de 0,0008. Qual a porcentagem das partículas?

$$P\% = \frac{100}{P_s} \times \frac{\gamma_g}{\gamma_g - 1} \times (L_D + C_T)$$

$$L_D + C_T = 1,0236 + 0,0008 = 1,0244 \times 1000 = 24,4$$

$$P_{0,016}\% = \frac{100}{50} \times \frac{2,70}{1,70} \times (24,4) = 77,5\%$$



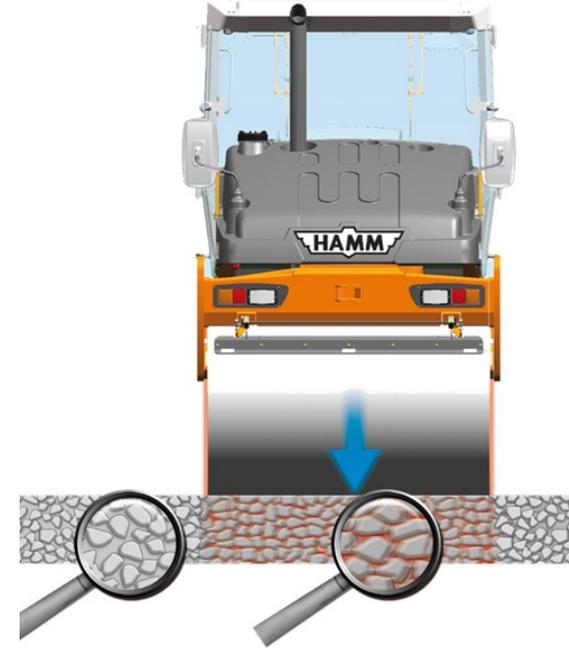
Compactação

- Redução do Índice de Vazios (e)
- Altera a qualidade mecânica do solo
- Altera a qualidade hidráulica
- Altera a resistência ao cisalhamento
 - Mecânica
 - Rolos, Retroescavadeiras etc.
 - Manual



Índice de vazios (e)

- Energia de compactação
- Peso/Massa específica seca
- Unidade



$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{ou} \quad e = \frac{\gamma_g}{\gamma_s} - 1$$

- V_v = Volume de vazios
- V_s = Volume da parte sólida do solo.
- γ_g = Peso específico das partículas do solo
- γ_s = Peso específico do solo seco



Umidade do solo (h)

- Índice de vazios
- Compactação

$$h = \frac{P_a}{P_s} \times 100$$

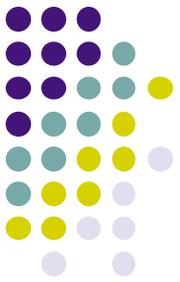
- P_a = Peso da água na amostra em estado natural
- P_s = Peso solo seco (estufa 105°C)



Peso da parte sólida/ Densidade

$$\gamma_s = \frac{P_s}{V_t} \quad \text{ou} \quad \gamma_s = \frac{\gamma}{1 + h} \quad \text{ou} \quad P_s = \frac{P}{1 + h}$$

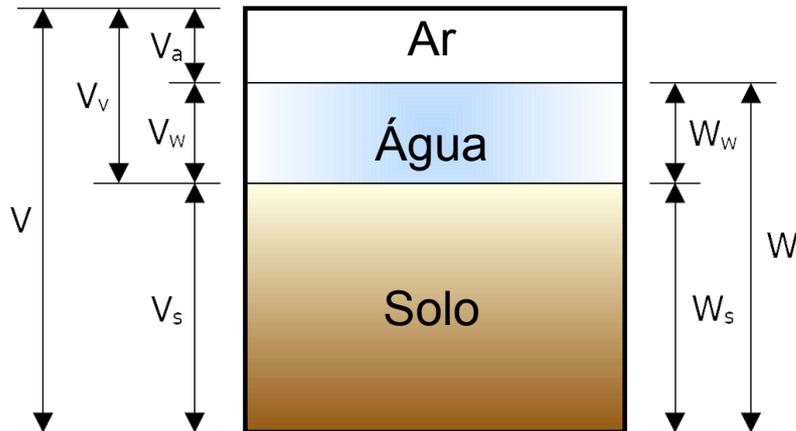
- γ = Peso total da amostra
- h = teor de umidade
- V_t – Volume total



Porosidade (n)

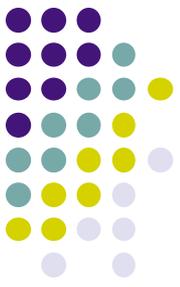
- Índice de vazios (e)
- Água + Ar

$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad \text{ou} \quad n = \frac{e}{1 + e}$$



- V_v = Volume de vazios
- V_t = Volume total do solo

Exercício fixação



- De uma amostra de solo coletado em uma propriedade, temos as seguintes informações: $P_t = 22,0\text{kg}$, Volume respectivo $V_t = 12,2$ litros. Se extrai uma pequena amostra, para a qual determina-se: peso úmido = 70g, peso seco = 58g e peso específico das partículas $2,67\text{g/cm}^3$ ou $26,7\text{ kN/m}^3$.
- Calcule: Teor de umidade (h), peso da parte sólida (P_s), peso da água (P_a), volume da parte sólida (V_s), volume de vazios (V_v), índice de vazios (e), porosidade (n)

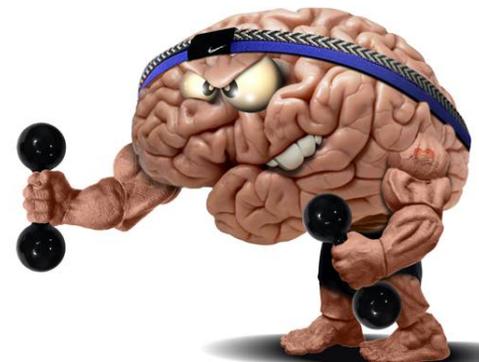
$$h = \frac{P_a}{P_s} \times 100$$

$$h = \frac{70 - 58}{58} \times 100 = 20,7\%$$

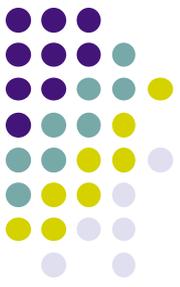
$$P_s = \frac{P}{1 + h}$$

$$P_s = \frac{22,0}{1 + 0,207} = 18,2\text{kg}$$

$$P_{\text{agua}} = 22,0 - 18,2 = 3,8\text{kg}$$



Exercício fixação

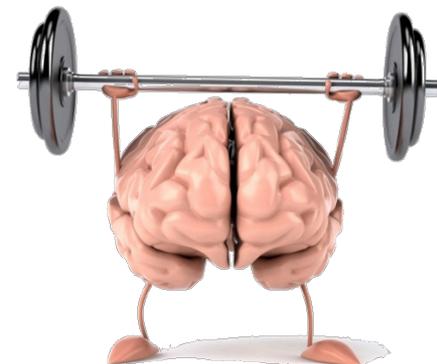


- De uma amostra de solo coletado em uma propriedade, temos as seguintes informações: $P_t = 22,0\text{kg}$, Volume respectivo $V_t = 12,2$ litros. Extrai-se uma pequena amostra, para a qual determina-se: peso úmido = 70g, peso seco = 58g e peso específico das partículas $2,67\text{g/cm}^3$ ou $26,7\text{ kN/m}^3$.
- Calcule: Teor de umidade (h), peso da parte sólida (P_s), peso da água (P_a), volume da parte sólida (V_s), volume de vazios (V_v), índice de vazios (e), porosidade (n)

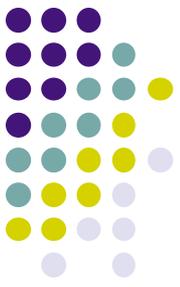
$$\gamma_g = \frac{P_s}{V_s} \quad V_s = \frac{18200}{2,67} = 6816\text{cm}^3 = 6,816 \times 10^{-3}\text{m}^3$$

$$V_v = 12200 - 6816 = 5,3484 \times 10^{-3}\text{m}^3$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad e = \frac{5,3484}{6,816} = 0,79$$



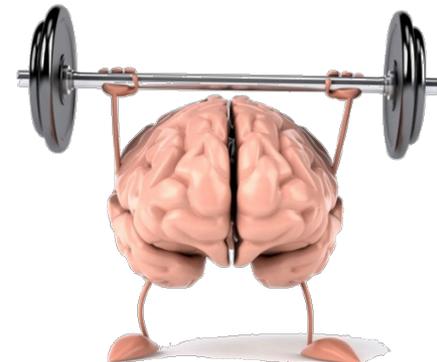
Exercício fixação



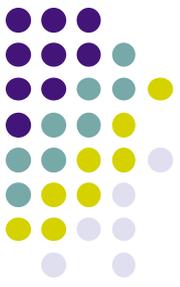
- De uma amostra de solo coletado em uma propriedade, temos as seguintes informações: $P_t = 22,0\text{kg}$, Volume respectivo $V_t = 12,2$ litros. Extrai-se uma pequena amostra, para a qual determina-se: peso úmido = 70g, peso seco = 58g e peso específico das partículas $2,67\text{g/cm}^3$ ou $26,7\text{ kN/m}^3$.
- Calcule: Teor de umidade (h), peso da parte sólida (P_s), peso da água (P_a), volume da parte sólida (V_s), volume de vazios (V_v), índice de vazios (e), porosidade (n)

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad n = \frac{0,79}{1 + 0,79} = 0,44$$

$$n\% = \frac{5384}{12200} \times 100 = 44\%$$



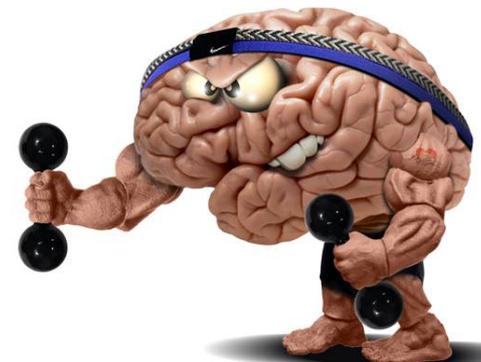
Exercício fixação



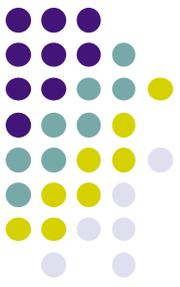
- De uma amostra de solo coletado em uma propriedade, temos as seguintes informações: $P_t = 5,2\text{kg}$, Volume respectivo $V_t = 2,9$ litros. Se extrai uma pequena amostra, para a qual determina-se: peso úmido = $7,79\text{g}$, peso seco = $6,68\text{g}$ e peso específico das partículas $2,7\text{g/cm}^3$ ou $27,0\text{ kN/m}^3$.
- Calcule: Teor de umidade (h), peso da parte sólida (P_s), peso da água (P_a), volume da parte sólida (V_s), volume de vazios (V_v), índice de vazios (e), porosidade (n)

$$h = \frac{P_a}{P_s} \times 100$$

$$P_s = \frac{P}{1 + h}$$



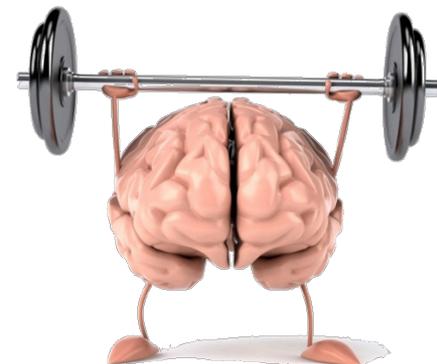
Exercício fixação



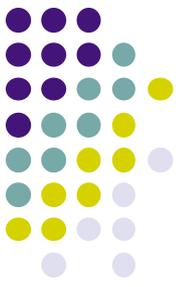
- De uma amostra de solo coletado em uma propriedade, temos as seguintes informações: $P_t = 5,2\text{kg}$, Volume respectivo $V_t = 2,9$ litros. Se extrai uma pequena amostra, para a qual determina-se: peso úmido = $7,79\text{g}$, peso seco = $6,68\text{g}$ e peso específico das partículas $2,7\text{g/cm}^3$ ou $27,0\text{ kN/m}^3$.
- Calcule: Teor de umidade (h), peso da parte sólida (P_s), peso da água (P_a), volume da parte sólida (V_s), volume de vazios (V_v), índice de vazios (e), porosidade (n)

$$\gamma_g = \frac{P_s}{V_s}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

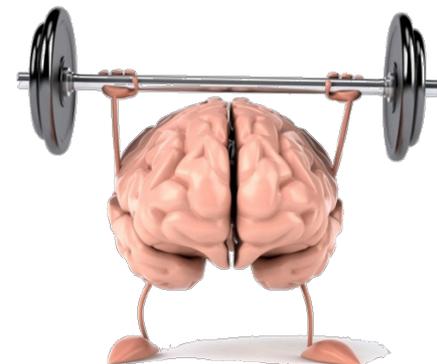


Exercício fixação



- De uma amostra de solo coletado em uma propriedade, temos as seguintes informações: $P_t = 5,2\text{kg}$, Volume respectivo $V_t = 2,9$ litros. Se extrai uma pequena amostra, para a qual determina-se: peso úmido = $7,79\text{g}$, peso seco = $6,68\text{g}$ e peso específico das partículas $2,7\text{g/cm}^3$ ou $27,0\text{ kN/m}^3$.
- Calcule: Teor de umidade (h), peso da parte sólida (P_s), peso da água (P_a), volume da parte sólida (V_s), volume de vazios (V_v), índice de vazios (e), porosidade (n)

$$n = \frac{e}{1 + e}$$



Plasticidade do solo



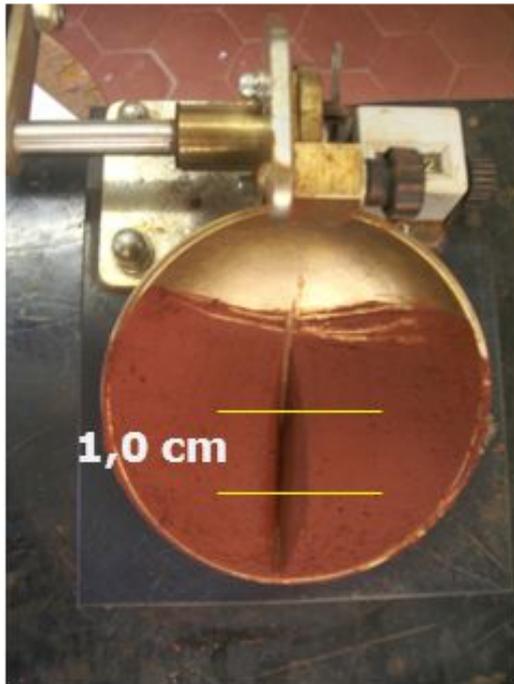
- A plasticidade é normalmente definida como uma propriedade dos solos, que consiste na **maior** ou **menor** capacidade de serem ele **moldados**, sob certas condições de umidade, sem variação de volume.
- Trata-se de uma das mais importantes propriedades das argilas (coesivos/finos)

- Laboratório (LL)
- Campo

$$LL = \frac{h}{1,419 - 0,3 \log n}$$

- n – número de golpes realizados
- h – teor de umidade

NBR 6459 - LIMITE DE LIQUIDEZ

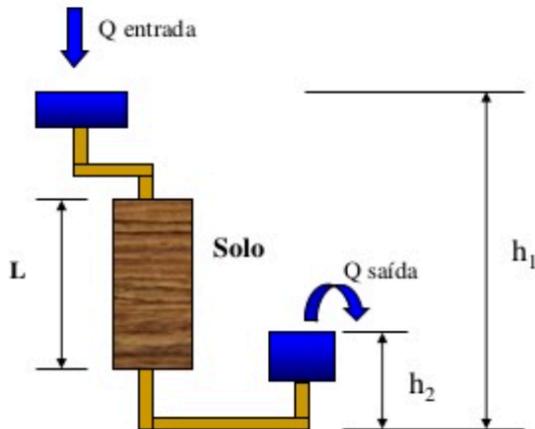


Permeabilidade do solo

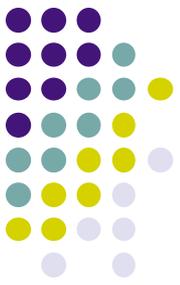


- A permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele.
- Coeficiente de permeabilidade (k_p) (Lei de Darcy, 1856)

$$v_p = k_p \cdot i$$



- V_p – velocidade real de percolação (cm/s)
- K_p – coeficiente de percolação, que é a velocidade real média de escoamento através dos vazios do solo.
- i – gradiente hidráulico (h/L) (perda de carga)
- h – diferença entre os níveis da água
- L espessura da camada de solo, medida na direção de escoamento

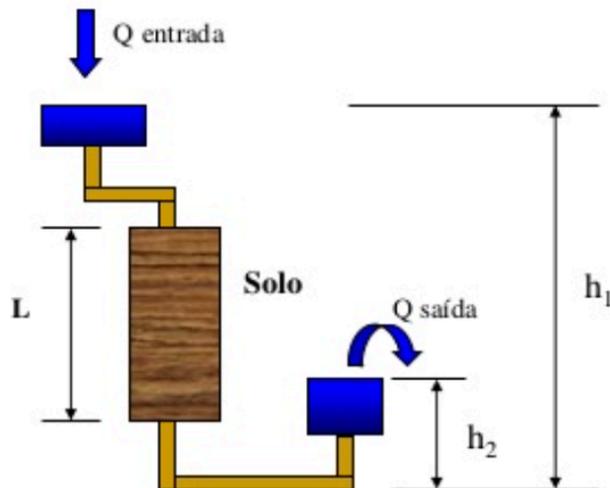


Permeabilidade do solo

- *Como:*

$$Q = v \cdot A \quad \Rightarrow \quad Q = k \cdot i \cdot A \cdot t$$

$$v_p = k_p \cdot i \quad \Rightarrow \quad k = n k_p \quad \Rightarrow \quad k = \frac{e}{1 + e} k_p$$



- Q – vazão (m^3/s)
- K_p – coeficiente de percolação, que é a velocidade real média de escoamento através dos vazios do solo.
- i – gradiente hidráulico (h/L) (perda de carga)
- n – porosidade do solo
- e – índice de vazios

Permeabilidade do solo

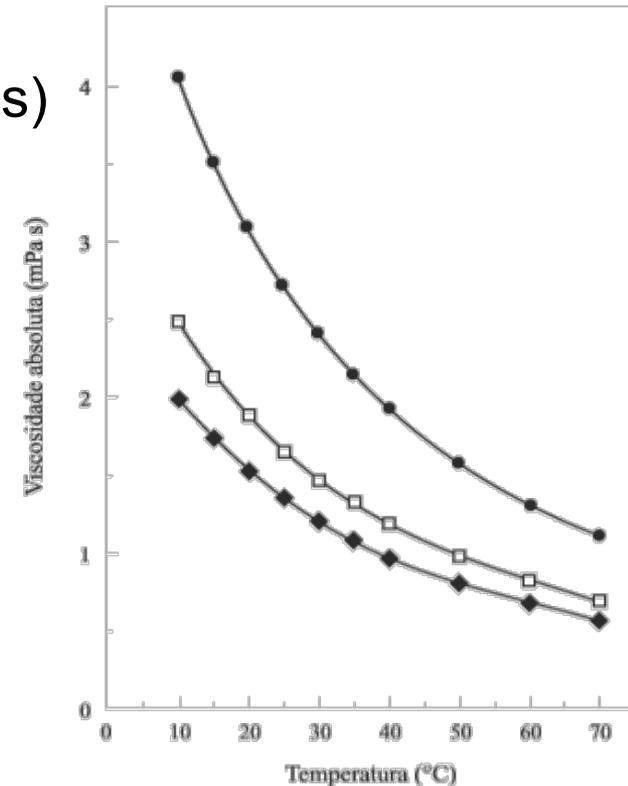
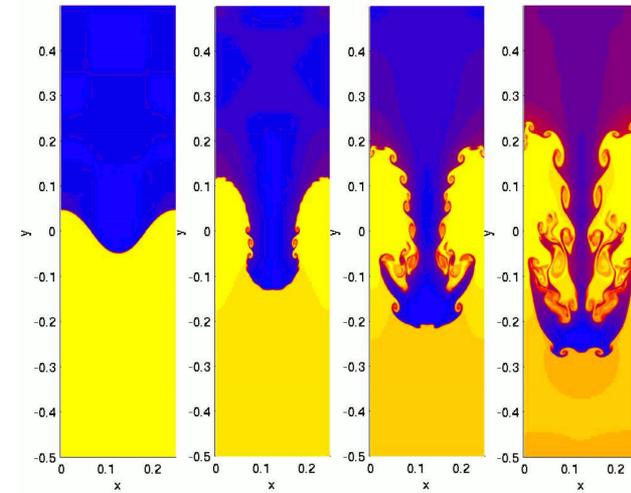
- Fatores de influência

- Temperatura

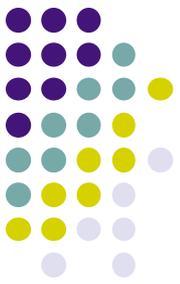
- ↓ Viscosidade / ↑ Permeabilidade (vazios)
- ↑ Coeficiente de permeabilidade (k_p)
- Kelvin Helmholtz

$$k_{20^\circ} = k_T \cdot \frac{\eta_T}{\eta_{20}} = k_T \cdot C_v$$

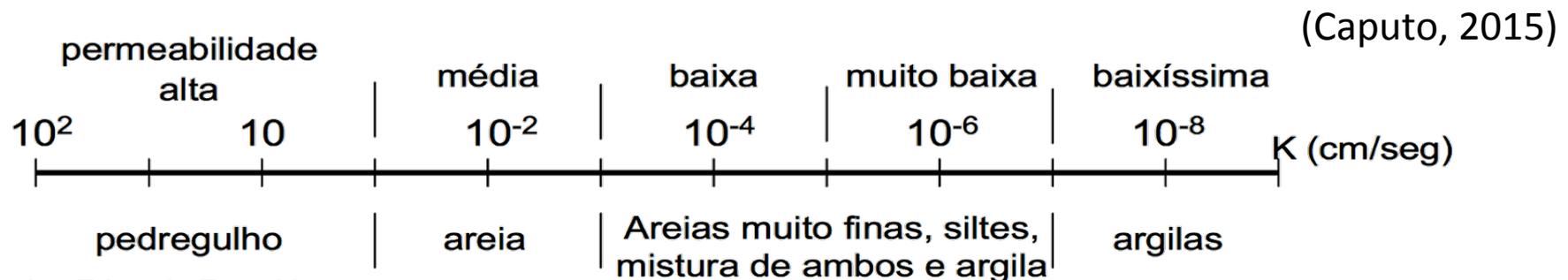
$$\eta = \frac{0,0178}{1 + 0,033T + 0,00022T^2}$$



Coeficiente de Permeabilidade (k_p)



Tipo de Solo	Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)
Pedregulho	10^2 a 10
Areia	10^{-1} a 10^{-3}
Areias muito finas e siltes, com variações com argila	10^{-4} a 10^{-7}
Argila	10^{-8} a 10^{-11}

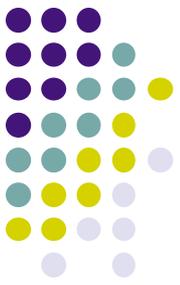


Coeficiente de Permeabilidade (k)

1. Pela Granulometria do Solo (Fórmula de Hazen)
2. Laboratório (Permeâmetro)
3. Campo
 1. Tubo aberto
 2. Bombeamento



Coeficiente de Permeabilidade (k)



- Pela Granulometria do Solo (Fórmula de Hazen)
- Areias (Grossos)

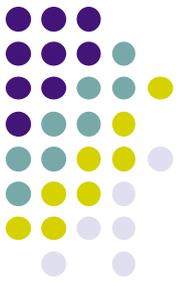
$$k = C \cdot d_{ef}^2$$

$$k = C(0,7 + 0,03T) \cdot d_{ef}^2$$

$$d_{ef} = \frac{d}{C_u}$$

- C_u – Coeficiente de uniformidade (2 a 5)
- C – Constante de uniformidade (100 a 150)
- d – Diâmetro da partícula (cm)
- d_{ef} – Diâmetro da partícula (cm)

Exercício fixação



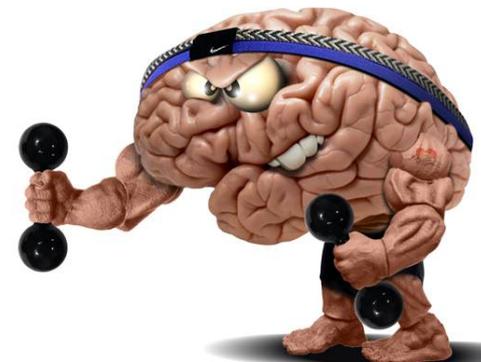
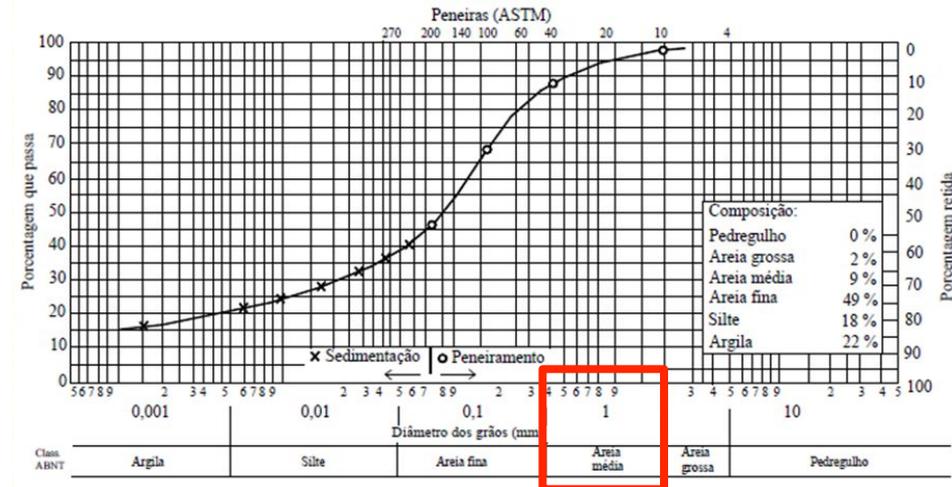
- A análise granulométrica de um solo revelou o seguinte resultado:
 - $d_{60\%} = 0,7\text{mm}$
- Calcule a velocidade de infiltração

$$k = C \cdot d_{ef}^2$$

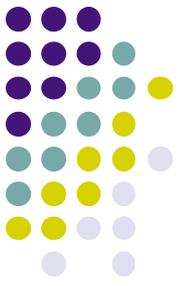
$$d_{ef} = \frac{d}{C_u}$$

$$d_{ef} = \frac{0,7}{2} = 0,35\text{mm}$$

$$k = 100 \cdot (0,035)^2 = 0,1225\text{cm/s}$$



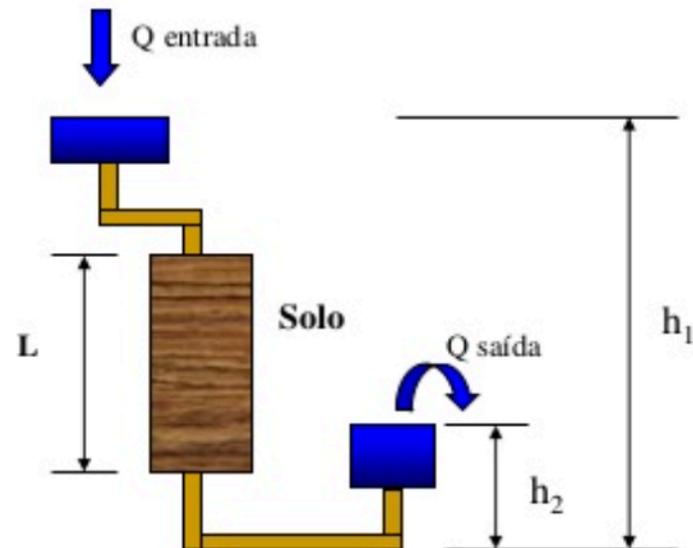
Coeficiente de Permeabilidade (k)

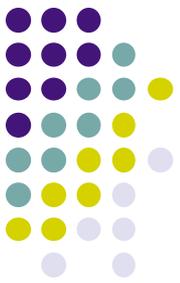


- Permeômetro de nível constante (laboratório)
- Uso geral (intermediários)

$$k = \frac{q \cdot L}{A \cdot h \cdot t}$$

- q – descarga total (cm^3)
- A – Área da seção de solo.
- h – diferença entre os níveis da água.
- L espessura da camada de solo, medida na direção de escoamento.
- t – tempo do teste.



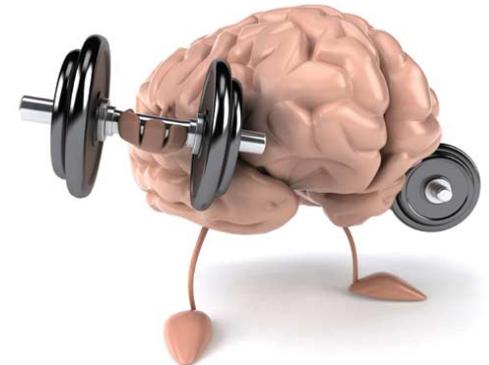


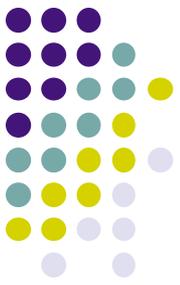
Exercício fixação

- Em um ensaio com permeâmetro de nível constante, onde a diferença entre os níveis de entrada e saída da água é de 15cm, se verifica que em 3 minutos de teste, para a amostra de solo em recipiente cilíndrico (15cm de altura e 5cm de diâmetro), passa 196cm³ de água. Qual é o coeficiente de permeabilidade deste solo analisado?

$$k = \frac{q \cdot L}{A \cdot h \cdot t} \qquad A_o = \pi R^2 = 3,14 \cdot (2,5)^2 = 19,625 \text{ cm}^2$$

$$k = \frac{196 \text{ cm}^3 \cdot 15 \text{ cm}}{19,625 \text{ cm}^2 \cdot 15 \text{ cm} \cdot 180 \text{ s}} = 0,055 \text{ cm/s}$$





Exercício fixação

- Em um ensaio com permeâmetro de nível constante, onde a diferença entre os níveis de entrada e saída da água é de 0,3m, se verifica que em 1,5 minutos de teste, para a amostra de solo em recipiente cilíndrico (13cm de altura e 0,07m de diâmetro), passa 0,00006m³ de água. Qual é o coeficiente de permeabilidade deste solo analisado?

$$k = \frac{q \cdot L}{A \cdot h \cdot t}$$

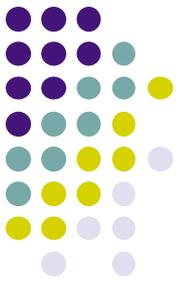


Ensaio de campo

- Granulometria (finos e grossos)
 - Arremesso
 - Gradiente de partículas
 - Minhoca
- Análise tátil-visual
 - Teste de Plasticidade “Macarrão”
- Infiltração
 - Tubo aberto
 - Trincheira permeável



Resistência a seco



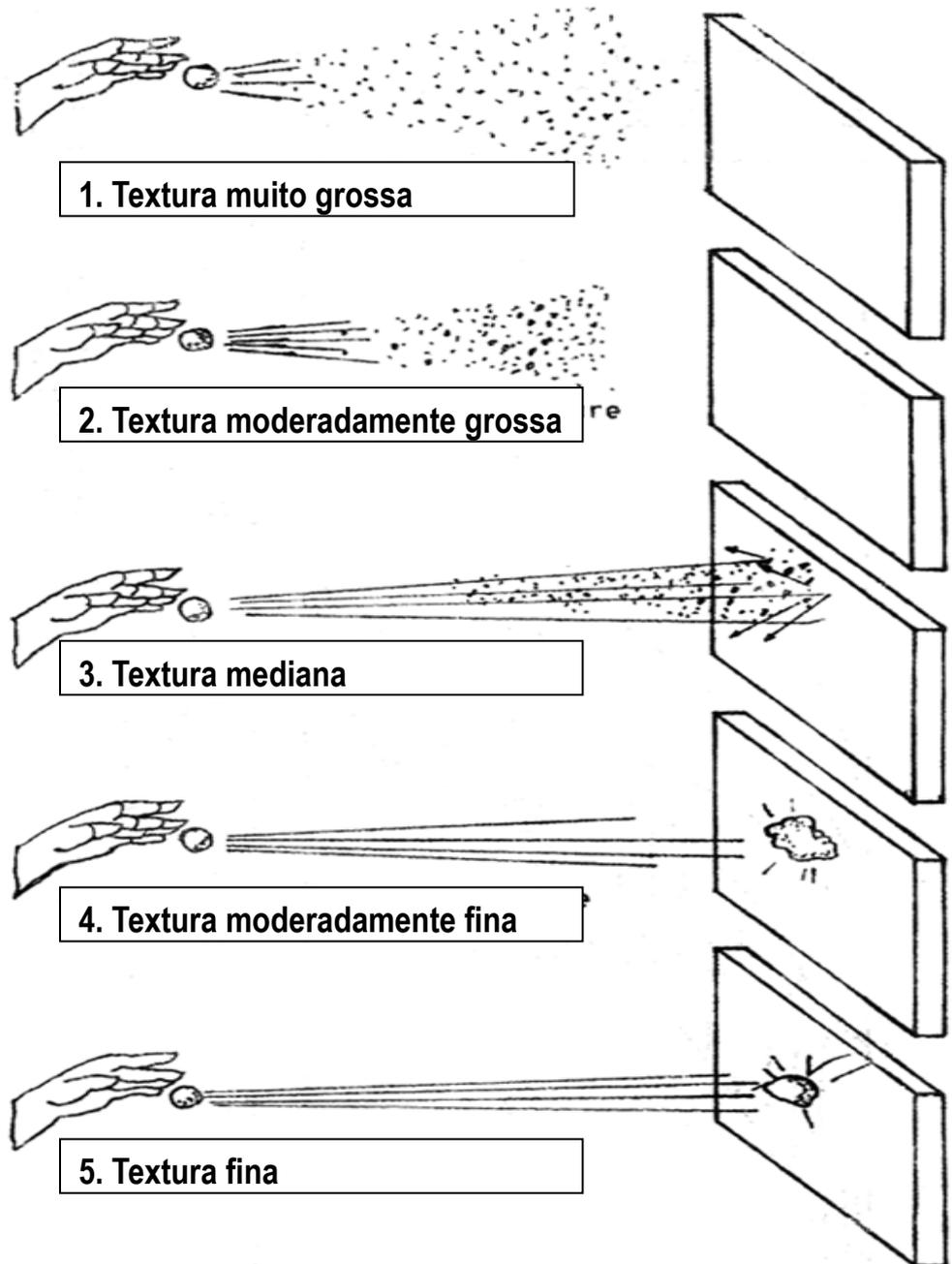
- **Determinação da textura (fina ou grossa):**
 1. Umedeça uma amostra de solo o suficiente para que ela adquira consistência;
 2. Com o polegar e o indicador, forme uma bola de mais ou menos 3 cm de diâmetro;
 3. Deixe secar e quebre.
- **Resultado**
 - Argila: pedaços (mais resistente)
 - Silte: pedaços (menos resistente/pouco coeso)
 - Arenoso: Esfarelar



Textura

Teste do lançamento:

1. Com uma amostra de solo umedecida, comprima-a entre os dedos até formar uma bola ;
2. Arremesse a amostra uns 50 cm para o alto e deixe cair na mão;
3. Se a bola se desfez, o solo é pobre em argila e rico em areia;
4. Se a bola mantém um formato coeso, possui boa porção de argila (finos)



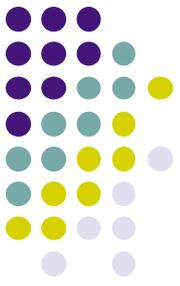
Teste de Determinação do gradiente das partículas do solo



1. Coloque 300ml de solo em um recipiente transparente com cerca de 1 litro de volume total (proveta graduada);
2. Comprimir o material para eliminar o volume de ar no interior do solo e registre o volume do solo no recipiente;
3. Adicione 500ml de água sobre o material e misture com haste de forma a desagregar as partículas do solo;
4. Tampe a boca do recipiente misture o material, virando o recipiente de cabeça para baixo e voltando a posição original, repetidamente por cerca de 3 minutos.
5. Após mistura deixe o recipiente descansar por 24 horas.
6. Fazer a relação da porcentagem de areia, silte e argila pelas camadas formadas (Classificação Trilinear).



Teste da “cobrinha ou minhoca”



1. Peneirar uma amostra do solo em peneira de 0,42 mm (peneira padrão para análise de solo),
2. Com a parte que passou pela peneira, acrescentar um pouco de água, para umedece-la de forma a obter uma massa que não seja pegajosa as mãos.
3. Role a massa de solo entre as mãos de forma a fazer um “macarrão” com cerca de 3 a 4mm de diâmetro.
4. Tente modelar ou fazer curvas na “cobrinha”
5. Resultado
 1. Se conseguir moldar, o solo tem grande quantidade de argila (finos)
 2. Se conseguir moldar, mas se partir o solo é de textura média (finos e grossos)
 3. Se partir ou esfarelar é arenoso.

Solo arenoso



Solo de textura média

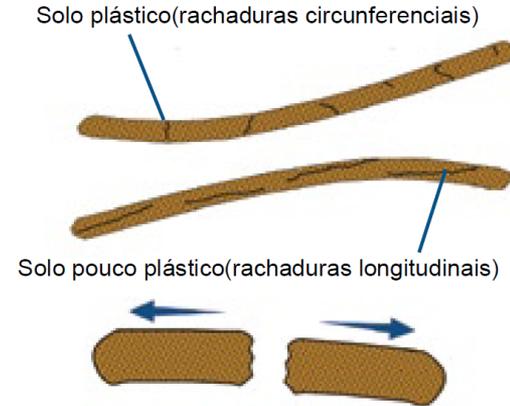


Solos argilosos



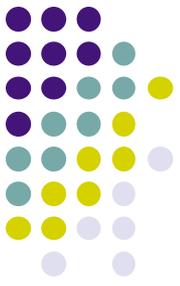
● Plasticidade: Teste do Macarrão ou minhoca

1. Peneirar uma amostra do solo em peneira de 0,42 mm (peneira padrão para análise de solo),
2. Com a parte que passou pela peneira, acrescentar um pouco de água, para umedece-la de forma a obter uma massa que não seja pegajosa as mãos.
3. Role a massa de solo entre as mãos de forma a fazer um “macarrão” com cerca de 3 a 4mm de diâmetro.
4. Desfaça o “macarrão” e refaça novamente até que ele comece a se partir em pedaços de 2,0 cm.
5. **Este é o indicativo do limite plástico do solo.**



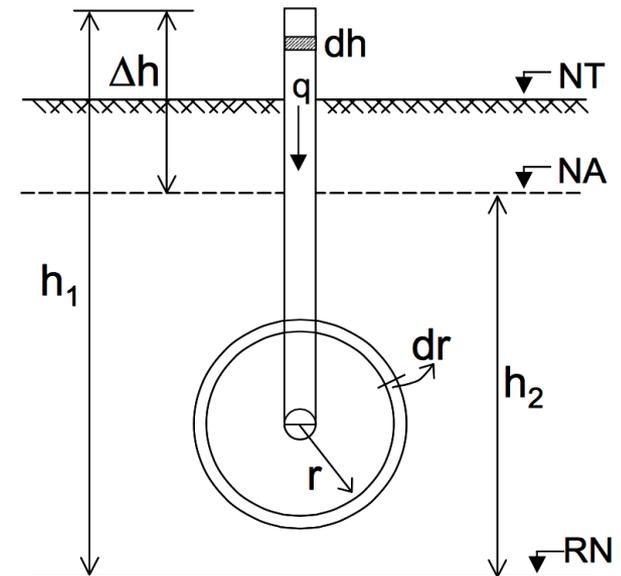
- Se houver rachaduras no sentido da circunferência indicam que **predomina argila na fração fina do solo**, indicando que este é de **alta plasticidade**.
- Se as rachaduras são no sentido do comprimento, significa que há uma **predominância de silte na fração fina** e o solo é considerado de **plasticidade média**.

Teste de infiltração



- Teste do Tubo Aberto
 - Cravar um tubo de sondagem no terreno até a profundidade desejada no projeto e enche-lo com água
 - Medir a velocidade com que a água infiltra no terreno segundo esféricas concêntricas

$$k = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta h \cdot r_1}$$

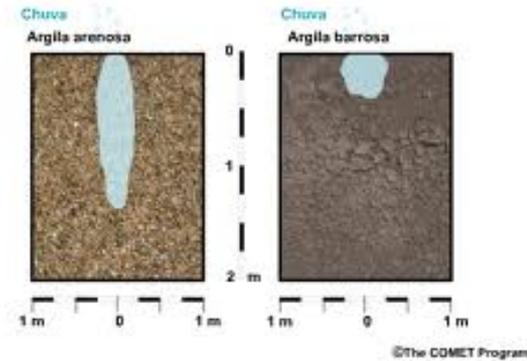




- **Teste de infiltração (Teste da Trincheira Permeável)**
 1. Cava-se uma vala no solo.
 2. O fundo da vala deve ficar na mesma cota do fundo dos viveiros.
 3. A vala deve ser cheia com água para saturar o solo das paredes laterais e do fundo.
 4. Com o auxílio de uma régua ou trena medir os intervalos de tempo e as variações no nível da água.
 5. A trincheira deve ser mantida sempre cheia, adicionando-se água periodicamente ao longo do teste de infiltração.
 6. A velocidade de infiltração é obtida no momento em que as leituras da infiltração se estabilizam.
 7. Ex: Após intervalos de 120 minutos a infiltração estabilizou em 1mm, a velocidade de infiltração será 1mm em duas horas, ou 0,5mm/h.

Demanda hídrica

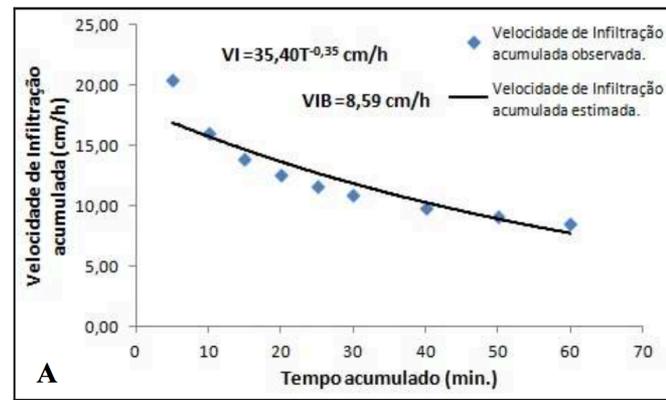
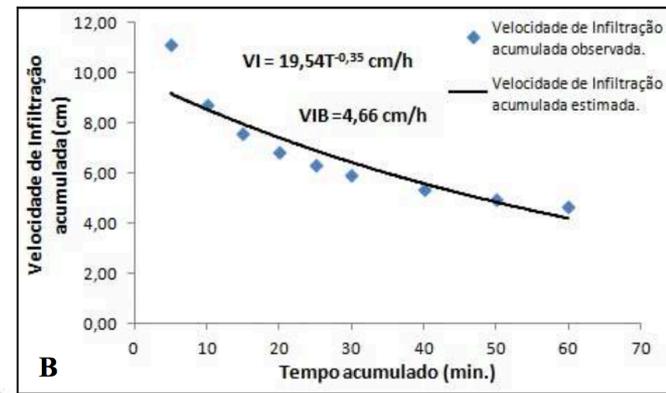
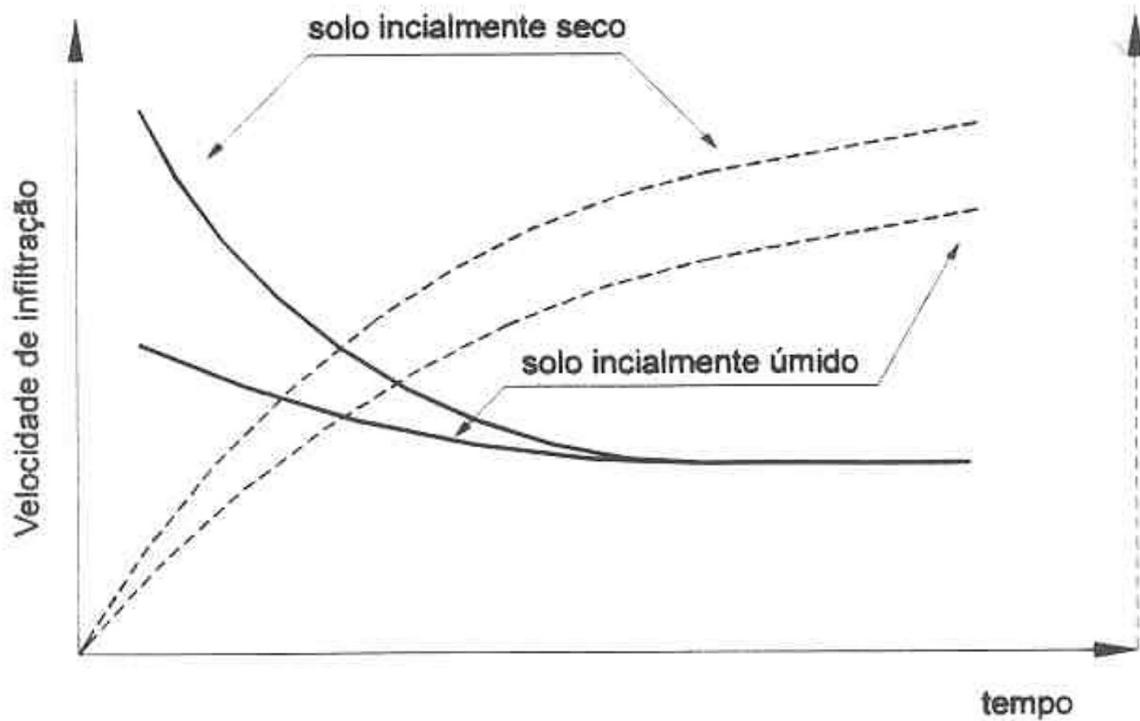
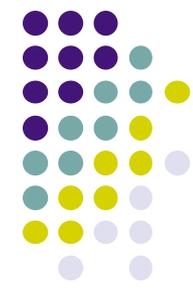




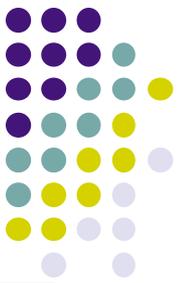
Percolação de água

- Capacidade de infiltração (CI)
 - Quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo, em um dado intervalo de tempo, sendo expresso geralmente em mm.h^{-1}
- VIB – Velocidade Básica de Infiltração (mm/h , cm/s)

Velocidade de infiltração e infiltração acumulada em função do tempo, para solo inicialmente seco e úmido.



Vazão de água necessária em litros/segundo/ha para a reposição das perdas de água por evaporação e infiltração



VIB* (mm/hora)	Evaporação média (mm/dia)					
	2	4	6	8	10	12
0,5	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8
1	3,0	3,2	3,5	3,7	3,9	4,2
2	5,8	6,0	6,3	6,5	6,7	6,9
4	11,3	11,6	11,8	12,0	12,3	12,5
8	22,5	22,7	22,9	23,1	23,4	23,6
12	33,6	33,8	34,0	34,0	34,5	34,7
14	35,36	35,5	35,7	35,8	36,2	36,4
18	41,7	41,9	42,1	42,1	42,6	42,8
20	48,1	48,3	48,5	48,5	49,0	49,2
22	54,5	54,7	54,8	54,8	55,5	55,5
25	60,9	61,1	61,2	61,2	61,9	61,9
27,6	67,3	67,5	67,6	67,5	68,3	68,3
30,2	73,7	73,8	74,0	73,9	74,7	74,7

*VIB - Velocidade de infiltração básica (solo saturado).

Fonte: Kubtzka et al, 2006.

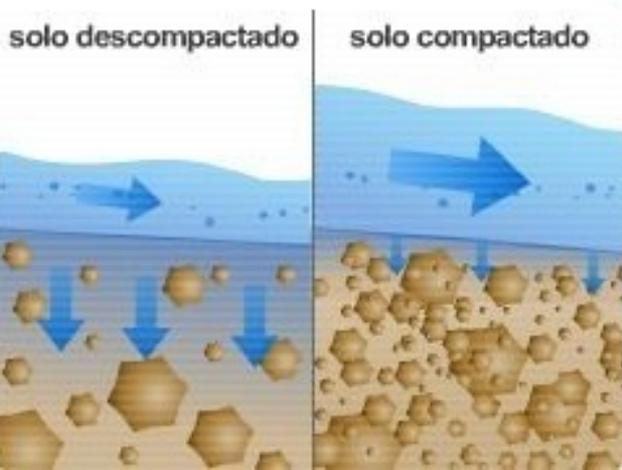
Valores de referência (VIB)



- VIB muito alta: > 30 mm/h
- VIB alta: 15 - 30 mm/h
- VIB média: 5 - 15 mm/h
- VIB baixa: < 5 mm/h

- **Na prática..**

- Velocidade de infiltração
- Características do solo;
- Eficiência do trabalho de compactação
- Estratégias para minimizar a infiltração
- Tempo de uso dos viveiros, etc





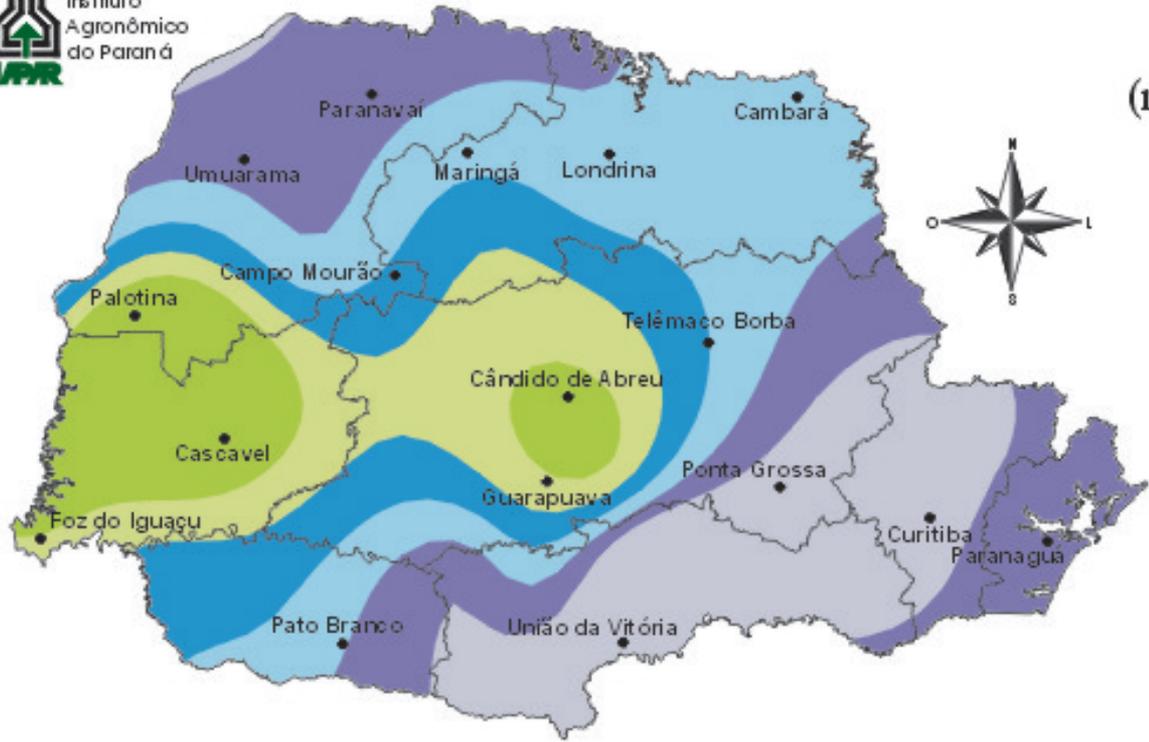
INSTITUTO AGRÔNOMO DO PARANÁ

- Email Expresso
- Central de Viagens
- Produtos e Serviços
- Agenda de Eventos
- Fale Conosco
- Ouvidoria
- IAPAR
- Pesquisar...

- Inicial
- Sobre o IAPAR
- Pós-Graduação - Mestrado
- Unidades de Pesquisa
- Áreas Técnicas e de Apoio
- Programas de Pesquisa
- Redes de Referências
- Tecnologia
- Agrometeorologia
- Biblioteca
- Sementes e Mudanças
- Publicações
- Centro de Difusão
- Visitas
- Estágios / Iniciação Científica
- Licitações
- Intranet
- Protocolo Geral do Estado



Evapotranspiração de Referência - 31/07/2016



Previsão semanal

Nos últimos dias o Porém, o quadro m fria). Há previsão d frontal ingressa um paranaenses.

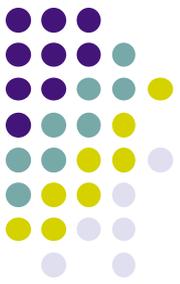
(atualizado em 25/Julh

Monitoramento agr

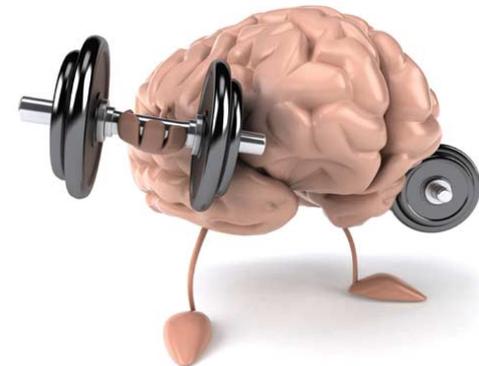
Região Norte
Na região Norte, a média i 11°C. As chuvas variaram evapotranspiração média disponível no solo ficou ei

Região Noroeste
Na região Noroeste, a mé 78 e 4480. As chuvas vari

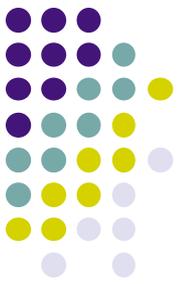
Exercício fixação



- Suponha que para um projeto em solo Latossolo Roxo, o teste de permeabilidade apontou velocidade de percolação de $0,00034\text{cm/s}$ com evaporação média de 8mm/dia . Qual é a vazão mínima necessária para construir uma propriedade de $2,5$ hectares de lâmina d'água, admitindo uma renovação diária seja 4% do volume total e considerando a profundidade média dos viveiros de $1,6\text{m}$.



Exercício fixação



- Suponha que para um projeto em solo Latossolo Roxo, o teste de permeabilidade apontou velocidade de percolação de $0,0024\text{cm/s}$ com evaporação média de 6mm/dia . Qual é a vazão mínima necessária para construir uma propriedade de $5,2$ hectares de lâmina d'água, admitindo uma renovação diária seja 3% do volume total e considerando a profundidade média dos viveiros de $1,6\text{m}$.

